

研究简报

# 炸药爆破冲击波压力的测量

张发兴

(1982年4月20日收到)

正确测量小药量炸药爆炸的压力是研究工程防护能力, 评价试验结果的重要手段。目前BPR压力传感器广泛运用于化爆压力测量中。BPR-2型压力传感器自振频率为25—37KHz。对于测量正压作用时间为10ms的冲击波压力还是可以胜任的。但目前与之配套的应变仪和光线示波器记录系统频率响应只有1KHz左右, 这给测量带来较大的误差。

设理想的冲击波脉冲为

$$p(t) = p(1 - t/t_0)e^{-t/t_0}$$

式中 $t_0$ ——冲击波正压作用时间。

当此压力讯号通过有限频率系统时, 将产生误差。

具有有限高频特性的记录系统测试得到的数据, 相当于压力波通过如图1所示的低通滤波器系统。

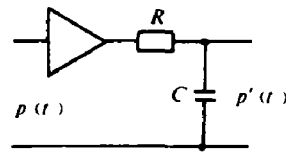


图1 低通滤波器系统

$$p'(t) = p(t) \left[ \frac{1}{(1-\beta)^2} - \frac{\tau}{1-\beta} \right] e^{-\tau} - \frac{e^{-\tau/\beta}}{(1-\beta)^2}$$

式中 $\beta = T_2/t_0$ ,  $T_2 = RC$ ,  $\tau = t/t_0$

从计算结果得知, 冲击波压力讯号经过低频系统, 由于系统的高频衰减引起压力峰值的降低和冲击波正压作用时间增加。计算所得的冲击波脉冲峰值的误差 $\delta$ 与 $\beta$ 的函数关系在图2给出。

以上分析系指冲击波理想脉冲得出的结果。总的来说, 正压作用时间越短, 对系统要求的频率响应越高。

对于测量正压作用时间为10ms的冲击波脉冲, 目前广泛使用的应变仪系统频率上限约为1KHz, 查表可知, 峰值测量误差约为10%以上。而如用5KHz的测量系统, 测量误差只

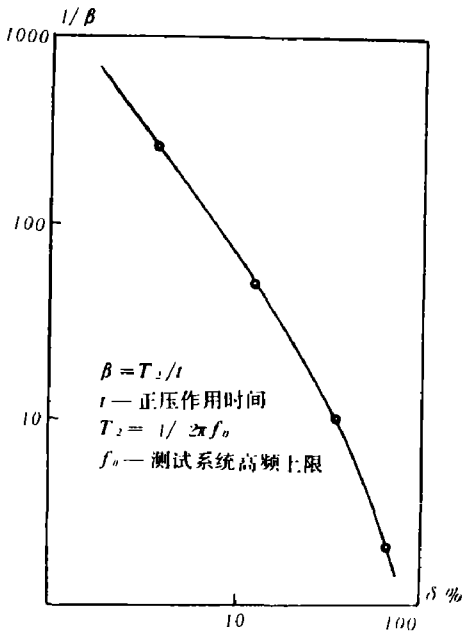


图2 由于系统高频衰减引起压力峰值的测量误差

有3%左右。鉴于应变仪系统要提高频率响应有较大的技术难题，所以我们研制了直流放大器系统。它在现场远距离测量中，得到满意的结果。测量系统方框图如图3所示。

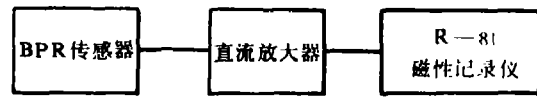


图3 测量系统方框图

直流放大器的电原理图如图4所示。 $u_2, u_3$ 组成对称输入的直流放大器电路，放大量为60db可调。 $u_1$ 提供电阻应变片的精密桥压，调节 $W_2$ 可改变供桥电压。设置 $W_1$ 以补偿桥路不平衡输出电压。 $u_2$ 为对称输入，提高

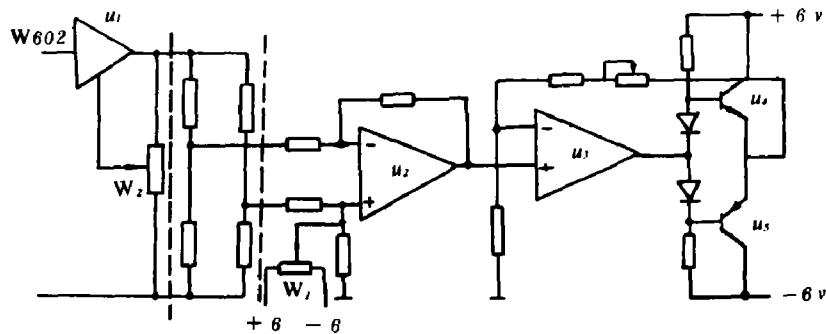


图4 直流放大器电原理图

系统抗共模干扰能力，抑制工频和长线干扰有一定作用。 $u_4, u_5$ 提供一定的电流，以适用振子示波器记录的需要。

目前我们研制的Y6C-1型六线应变仪达到的主要指标：

1. 放大量：40——60db；
2. 频率范围：0——10KHz(60db时)； 0——80KHz(40db时)；
3. 输出电压幅度：±2伏(负载阻抗>600Ω)；
4. 输出电流幅度：±100mA(负载阻抗<10Ω)；
5. 供桥电压：3——8伏。

此直流放大器系统在某工程(药量3.12吨的半地面库爆炸)中测试结果如表1所示。

表1 超压测试结果

测点编号	103	106	107	110	111	112
距爆点距离(米)	15.9	18.8	20.0	27.8	46.0	52.0
实测超压(Kg/cm <sup>2</sup> )	4.58	3.27	3.01	1.97	0.70	0.57
t <sub>0</sub> (ms)	10.3	9.2	10.6	8.4	27.8	35.8
压电晶体测试值	4.97	3.63	3.53	2.04	0.70	0.59
应变仪系统测试值	3.67	3.31	2.41	1.62	0.78	0.56

因实测现场各种因素干扰，106、110点正压作用时间略偏小。

测量时用R-81磁带记录仪，记录仪最高频响为5KHz，所以记录得波形上升时间约

为  $0.1ms$  (应变仪系统为  $0.4ms$ )。

为了验证理论上计算的结果,我们利用了磁带能多次回放的特点。对测试数据进行多次分析,让它通过有限频率系统,试验结果所得数据如表 2 所示。

表 2 模拟不同频率系统的测量误差\*

数据号	$t_i (ms)$	$p_1 (1KHz)$	$p_2 (5KHz)$	$\varepsilon = 100 \times \frac{p_2 - p_1}{p_2} \%$
103	10.3	11.8	14.5	18
106	9.2	13.5	15.5	13
107	10.6	15.5	18.0	13.8
110	8.4	18.0	19.0	5.0
111	27.8	26.0	27.0	4.0
112	31.8	35.0	36.0	3.0

(\*)表中所示数据为中间量,不代表压力值。

从表 2 数据可知,系统频率  $5KHz$  和  $1KHz$ , 测量误差可达  $10\%$  以上。测量正压作用时间越短的超压,误差越大。所以提高测试系统的频率范围是提高测试精度的有效措施。

分析所有的测试结果和波形(此系统共参加过三次大型化爆和许多小型爆破测量,最小药量为  $10g$ — $1Kg$ ),可以看出此系统能较好地胜任冲击波压力测量,测得波形较好,数据误差不大。完全能胜任正压作用时间为  $10ms$  的压力波测量。从测试结果的频谱分析结果也看出,主要频率分量均在  $2KHz$  以下。超压的功率谱就更低。所以在  $5KHz$  系统测量超压,在一般工程中是足够了。

此系统具有结构简单,小型化,适用于野外工作的特点。特别在远距离测量中,因不存在分布电容对测量的影响,故对传输电缆的对称性和绝缘电阻等参数,没有太高的要求。随着电子技术的发展,更高指标的直流放大器也是不难实现的。

由于此项目进行过程时间仓促,技术资料不全,许多方面还不完善,有待今后总结提高。

## MEASUREMENTS OF THE PRESSURE OF EXPLOSIVE SHOCK WAVES

Zhang Faxing